

E. A. FILATOV

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF SWITCH NECKS STATIONS SPECIALIZED IN THE MAINTENANCE OF GONDOLA CARS AND MINERAL WAGONS

The research carried out by the author in the field of ensuring safe and efficient shunting work with rolling stock of various types allowed us to determine the influence of design features of the design rolling stock on the parameters of switch necks of large railway stations that provide processing of a wide range of goods. However, quite often it is necessary to provide transport services for only one enterprise that has a narrow range of goods and uses rolling stock of the same type. The article presents an analysis of the impact on the parameters of the transport infrastructure of the specialization of stations in the maintenance of wagons for the transportation of mineral fertilizers and gondola cars.

Получено 15.11.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.07+06

О. Н. ЧИСЛОВ, Н. М. ЛУГАНЧЕНКО

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону*

o_chislov@mail.ru, luganchenko.n@yandex.ru

РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ГРУЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ И ТЕРМИНАЛОВ

Рассматриваются и реализуются новые методы цифровизации транспортно-складской инфраструктуры, связанные с созданием имитационной модели ТСК, которая представляет цифровую копию объекта инфраструктуры с последующим применением методов аксиоматизации транспортно-технологических процессов с целью повышения уровня эффективности эксплуатации инфраструктуры ТСК.

Железнодорожный транспорт представляет собой совокупность большого количества различных служб, дирекций, управлений, департаментов. Их совместная деятельность обеспечивает бесперебойную перевозку пассажиров и грузов различной номенклатуры по территории Российской Федерации, а также других стран. Среди всех видов транспорта именно железнодорожный занимает ведущее место, постоянно взаимодействуя с другими видами транспорта и логистической инфраструктурой в целом.

Важное место в структуре железнодорожного транспорта и эксплуатационной деятельности железных дорог занимает грузовая и коммерческая ра-

бота, которая является доходобразующим направлением работы железнодорожной отрасли. К ней относятся вопросы погрузки, выгрузки, а также различные транспортно-складские операции и др. Вопрос дальнейшего развития и оптимизации всех процессов, имеющих отношение к грузовой и коммерческой работе на железнодорожном транспорте, крайне важен, так как рост и качественное развитие этой области деятельности отечественных железных дорог повлияет на рост и в других областях за счет увеличения доходов.

Центром грузовой работы на станции является транспортно-складской комплекс. Он объединяет в себе склады, капитальные сооружения, вспомогательные постройки, коммуникации, дороги и стоянки для грузовых автомашин, специальное оборудование и многое другое, что можно отнести к работе с грузами.

При проектировании и совершенствовании транспортно-складских операций калибруется и оптимизируется технология работы в целом, а также анализируется каждый процесс транспортно-складской работы. Чем тщательнее анализ, тем более эффективно использование инфраструктуры ТСК.

Одним из самых перспективных направлений по улучшению технологии работы транспортно-складских комплексов является их комплексная постепенная цифровизация с окончательным результатом в виде создания полной цифровой копии ТСК, отражающей в полной мере различные технологические процессы. Базовым вариантом цифровизации ТСК является создание его визуальной имитационной модели, на основе которой можно в дальнейшем анализировать технологию работы модели.

На данный момент наиболее актуальным в рамках имитационного моделирования является программное обеспечение шестого поколения, которое объединяет в себе удобный графический интерфейс, а также позволяет планировать различные эксперименты, меняя параметры модели в режиме реального времени.

Для создания имитационной модели была выбрана программа имитационного моделирования AnyLogic. На базе данной программы, имеющей хорошую визуальную составляющую, можно создать имитационную модель и производить дальнейший анализ.

В рамках имитационной модели всего можно выделить 4 этапа создания цифрового двойника транспортно-складского комплекса [3] (рисунок 1).

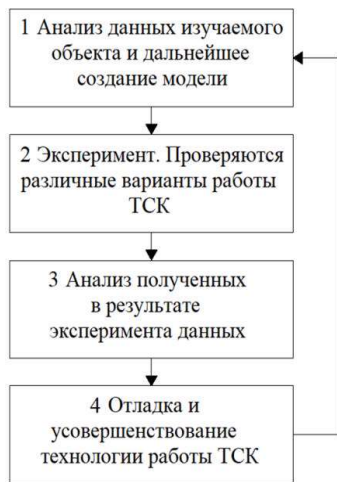


Рисунок 1 – Этапы создания цифрового двойника ТСК

В соответствии с первыми тремя этапами создается модель в ПО AnyLogic, основой которой является типовой транспортно-складской комплекс, и производятся соответствующие эксперименты с последующим анализом полученных данных (рисунок 2).

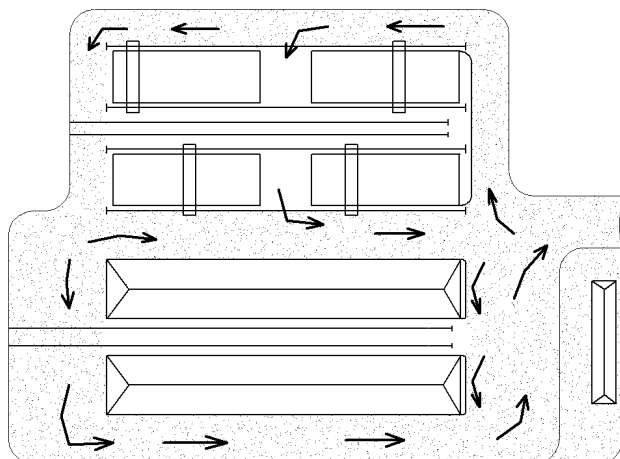


Рисунок 2 – Схема ТСК с автопроездами

Чертеж ТСК должен быть визуально воспринимаемым. Для этого используются различные текстуры из открытых библиотек AnyLogic 3dwarehouse, а также трехмерные блочные модели различных объектов складской и логистической инфраструктуры из таких программ, как Autodesk 3dsMax, Autodesk Revit и Blender (рисунки 3, 4).

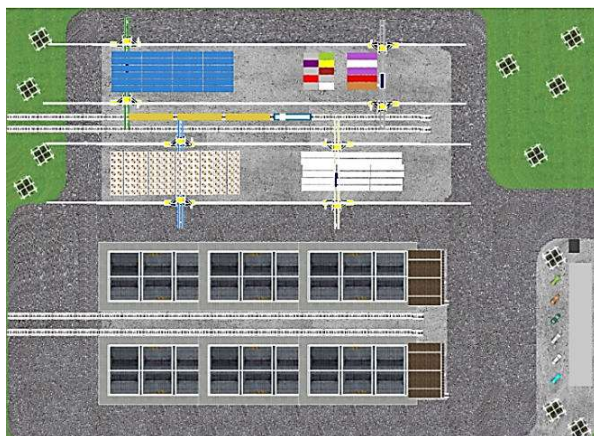


Рисунок 3 – Текстурированная и наполненная схема ТСК



Рисунок 4 – 3D-модель ТСК

Теперь можно перейти к четвертому этапу создания цифрового двойника транспортно-складского комплекса, а именно к отладке и усовершенствованию работы ТСК. Для этого необходимо сформировать модельную схему вагонопотоков и потоков автотранспорта, технологии грузовых операций транспортно-складского комплекса (рисунок 5).

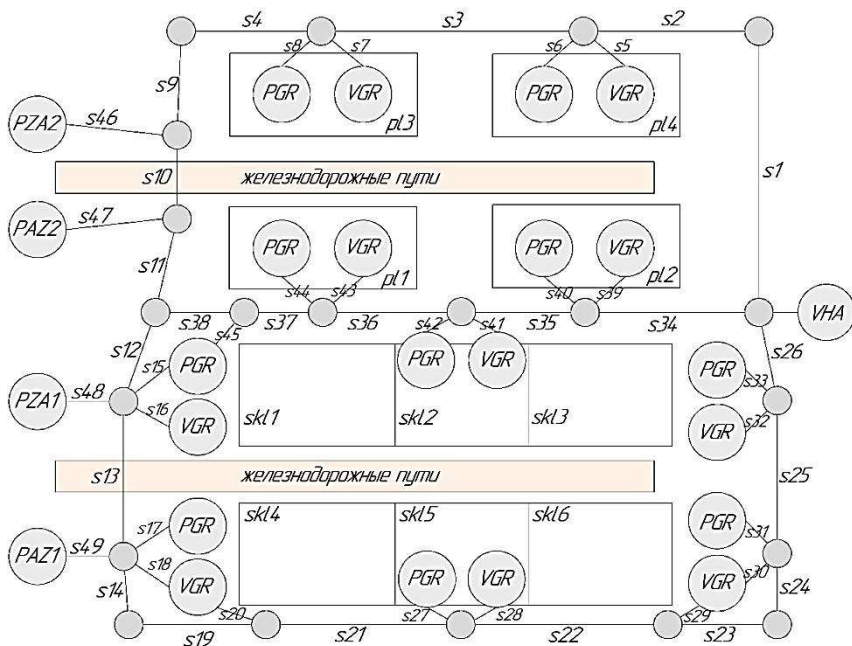


Рисунок 5 – Модельная схема ТСК

Введем обозначения различных модульных элементов схемы движения грузовых автомобилей и их обслуживания транспортно-складской инфраструктурой на данном грузовом дворе (таблица 1).

Таблица 1 – Модульные элементы ТСК

Модуль схемы ТСК	Обозначение модуля	Время занятия модуля, мин.
VHA	Въезд/выезд с территории	5 мин
PGR	Погрузка грузовых автомашин	30 мин для skl_i , 50 мин для pl_i
VGR	Выгрузка грузовых автомашин	30 мин для skl_i , 50 мин для pl_i
$PZA1$, $PZA2$	Прямая перегрузка по варианту железная дорога – автомобиль	25 мин
$PAZ1$, $PAZ2$	Прямая перегрузка по варианту авто- и железная дорога	35 мин
skl_i	Секция крытого склада для тарно-штучных грузов	–
pl_i	Площадка для грузов под козловым краном	–
s_i	Соединительные дороги для автомашин	$ts_i = S / v$, где S – расстояние участка дороги, м; v – средняя скорость движения по территории ТСК (5 км/ч)

Время на обслуживание модулей системой принимается в соответствии со сложностью обработки того или иного груза на площадке для грузов или крытых складах. Модули схемы транспортно-складского комплекса помимо временных значений содержат и другие характеристики, связанные с технологическими операциями, выполняемыми этим модулем. К ним можно отнести технические характеристики мостового крана, используемого на крытом складе для тарно-штучных грузов; количество погрузочно-разгрузочных машин склада и их технические характеристики; максимально возможное количество вагонов, принимаемых грузовым фронтом и т. д.

На основе этих данных можно приступить к созданию аксиомат [4] – неких закономерных последовательностей событий, задач, описывающих то или иное действие, которое нам необходимо проанализировать и сопоставить с множеством других аксиомат. Данный научный подход к анализу железнодорожной инфраструктуры используется рядом ученых-транспортников [5]. Определим время занятия модулей s_i (таблица 2).

На основе всех представленных выше данных создадим ведомость аксиомат транспортно-складского комплекса. Каждая аксиомата представляет собой конкретную последовательность транспортной работы для грузовой автомашины.

Таблица 2 – Время занятия модулей s_i

Номер модуля	Время занятия модуля, мин	Номер модуля	Время занятия модуля, мин	Номер модуля	Время занятия модуля, мин
s_1	$72 / 80 = 0,9$	s_{18}	$12 / 80 = 0,15$	s_{35}	$26 / 80 = 0,33$
s_2	$41 / 80 = 0,5$	s_{19}	$30 / 80 = 0,38$	s_{36}	$31 / 80 = 0,4$
s_3	$65 / 80 = 0,8$	s_{20}	$11 / 80 = 0,1$	s_{37}	$14 / 80 = 0,18$
s_4	$31 / 80 = 0,4$	s_{21}	$47 / 80 = 0,6$	s_{38}	$17 / 80 = 0,21$
s_5	$11 / 80 = 0,14$	s_{22}	$50 / 80 = 0,63$	s_{39}	$12 / 80 = 0,15$
s_6	$11 / 80 = 0,14$	s_{23}	$23 / 80 = 0,29$	s_{40}	$12 / 80 = 0,15$
s_7	$12 / 80 = 0,15$	s_{24}	$12 / 80 = 0,15$	s_{41}	$8 / 80 = 0,1$
s_8	$11 / 80 = 0,1$	s_{25}	$35 / 80 = 0,44$	s_{42}	$8 / 80 = 0,1$
s_9	$22 / 80 = 0,28$	s_{26}	$18 / 80 = 0,23$	s_{43}	$12 / 80 = 0,15$
s_{10}	$16 / 80 = 0,2$	s_{27}	$7 / 80 = 0,09$	s_{44}	$12 / 80 = 0,15$
s_{11}	$20 / 80 = 0,25$	s_{28}	$7 / 80 = 0,09$	s_{45}	$8 / 80 = 0,1$
s_{12}	$19 / 80 = 0,24$	s_{29}	$7 / 80 = 0,09$	s_{46}	$27 / 80 = 0,34$
s_{13}	$36 / 80 = 0,45$	s_{30}	$8 / 80 = 0,1$	s_{47}	$27 / 80 = 0,34$
s_{14}	$12 / 80 = 0,15$	s_{31}	$9 / 80 = 0,11$	s_{48}	$12 / 80 = 0,15$
s_{15}	$12 / 80 = 0,15$	s_{32}	$9 / 80 = 0,11$	s_{49}	$12 / 80 = 0,15$
s_{16}	$11 / 80 = 0,14$	s_{33}	$9 / 80 = 0,11$	–	–
s_{17}	$12 / 80 = 0,15$	s_{34}	$41 / 80 = 0,5$	–	–

Таблица 3 – Ведомость аксиомат ТСК

Номер аксиоматы	Модельная схема аксиоматы
1	$\{VHA \leftrightarrow VGR(pl1 \vee pl2 \vee pl3 \vee pl4) \leftrightarrow VHA \}$
2	$\{VHA \leftrightarrow PGR(pl1 \vee pl2 \vee pl3 \vee pl4) \leftrightarrow VHA \}$
3	$\{VHA \leftrightarrow VGR(sk11 \vee sk12 \vee sk13) \leftrightarrow VHA \}$
4	$\{VHA \leftrightarrow PGR(sk11 \vee sk12 \vee sk13) \leftrightarrow VHA \}$
5	$\{VHA \leftrightarrow VGR(sk14 \vee sk15 \vee sk16) \leftrightarrow VHA \}$
6	$\{VHA \leftrightarrow PGR(sk14 \vee sk15 \vee sk16) \leftrightarrow VHA \}$
7	$\{VHA \leftrightarrow PZA1 \leftrightarrow VHA \}$
8	$\{VHA \leftrightarrow PAZ1 \leftrightarrow VHA \}$
9	$\{VHA \leftrightarrow PZA2 \leftrightarrow VHA \}$
10	$\{VHA \leftrightarrow PAZ2 \leftrightarrow VHA \}$

Каждый грузовой автомобиль, приезжающий на территорию ТСК, имеет определенную задачу, которая соответствует определенной аксиомате погрузки-выгрузки на одном из складских объектов. В зависимости от потребности транспортно-складского комплекса в определенной грузовой операции программой выбирается соответствующая площадка или склад. Создание модели производится в программном пакете Maple.

Например, аксиомата № 1 (см. таблицу 3) представляет собой описание действия приезда грузового автомобиля на территорию транспортно-складского комплекса, проследования по одному из возможных видов дорог до места выгрузки – одной из открытых площадок для хранения грузов pli

(пусть $p11$), а затем выезда с территории грузового двора. В зависимости от многих условий, которые устанавливаются в процессе создания аксиоматы, имеется большое количество вариаций влияния на итоговые временные затраты на грузовую операцию. Например, при возможном прохождении модулей соединительных дорог для грузовых автомашин $s10$ и $s13$ существует вероятность, что машине придется ждать проезда маневрового состава по железнодорожным путям. На основе 20 проведенных экспериментов получены результаты, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Результат экспериментов аксиоматы № 1

Номер эксперимента	Время, затраченное на грузовую операцию, мин	Модуль был занят	Основная дорога была занята
1	67,76	+	–
2	62,76	–	–
3	67,76	+	–
4	67,76	+	–
5	62,76	–	–
6	72,74	+	+
7	67,74	–	+
8	62,76	–	–
9	62,76	–	–
10	67,74	–	+
11	72,74	+	+
12	67,76	+	–
13	72,74	+	+
14	67,74	–	+
15	67,74	–	+
16	72,74	+	+
17	67,74	–	+
18	67,74	–	+
19	62,76	–	–
20	62,76	–	–
<i>Итого</i>	$\sum t = 1345$ мин	$\langle + \rangle - 8$ $\langle - \rangle - 12$	$\langle + \rangle - 10$ $\langle - \rangle - 10$

Таким образом, производя достаточное количество экспериментов, можно определить среднее время на данную грузовую операцию:

$$t_{\text{ср}} = \sum t / 20 = 67,25 \text{ мин.}$$

На основе данных всех представленных в таблице 3 аксиомат можно таким же образом найти среднее время выполнения грузовой операции относительно каждого модуля. По результатам таблицы 4 относительно аксиоматы № 1 можно сделать следующие выводы:

– в половине случаев ближайший (основной) путь к месту погрузки/выгрузки занят, поэтому имеет смысл проработать и оптимизировать путь-дублер к каждому модулю модельной схемы ТСК;

– в 8 случаях из 20 модуль для реализации грузовым автомобилем занят другим автомобилем, что приводит к дополнительным простоям. Сократить простой автомобилей можно посредством оптимизации графика подвода грузовых автомашин к ТСК и соответствующему модулю (например, площадке для тяжеловесных грузов). При дальнейшем увеличении доли случаев в выборке, когда модуль был занят, следует расширить погрузочно-выгрузочный фронт для обслуживания более одного автомобиля;

– в 4 случаях из 20 были заняты как модуль грузовой операции, так и основная дорога для подъезда к нему, т. е. в 20 % случаев автомобиль затрачивал значительное время на грузовую операцию (72,74 мин), что также говорит в пользу оптимизации пути-дублера и расширения погрузочно-выгрузочного фронта для обслуживания автомобилей.

Таким образом, изучая каждую аксиому, можно производить анализ данных и предпринимать соответствующие оптимизационные решения.

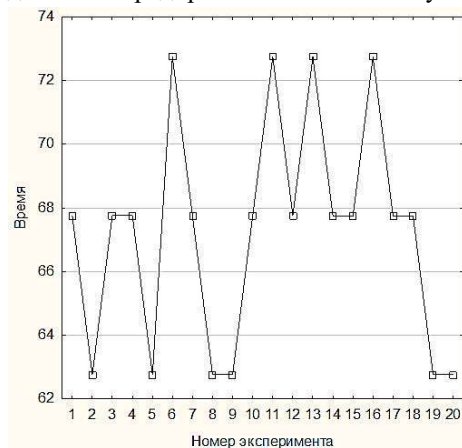


Рисунок 6 – График среднего времени, затраченного на грузовую операцию

Согласно графику (рисунок 6) можно сделать вывод, что основная концентрация времени выполнения аксиомы по данной выборке совпадает с расчетным средним временем $t_{cp} = 67,25$ мин. Данный подход к анализу работы транспортно-складского комплекса полезен тем, что с помощью аксиоматной выборки рассматривается теоретически идеальная ситуация с различными погрешностями, с которыми можно встретиться в процессе грузовых и коммерческих операций. Сравнив данные показатели с реальными, можно сделать соответствующие

выводы о том, насколько сильно отличается реальная ситуация от «идеальной», учитывающей основные погрешности, и разработать стратегию управленческих решений.

На основе этого можно предпринимать дальнейшие решения оптимизации автомобилепотоков транспортно-складских комплексов, что, безусловно, окажет положительное влияние на эффективность эксплуатации транспортно-складской и логистической инфраструктуры. Важно отметить, что внедрение такого метода анализа и дальнейшей оптимизации ТСК не требует больших капиталовложений и имеет относительно малую стоимость содержания такой экспертной системы.

Из данных, полученных из результатов подобного анализа аксиоматной модели, собирается база данных относительно заданного объекта инфраструктуры. При достижении необходимого количества экспериментов, можно применять принципы интеллектуального машинного обучения и теории нечетких множеств, таким образом, приведя к построению новых логических последовательностей решения транспортных задач в системе ТСК.

Аксиоматику транспортных процессов можно отнести к универсальным методам систематизации и оптимизации работы транспортных систем. Методы аксиоматного моделирования применимы к любым объектам транспортной инфраструктуры, а аксиоматные модели различных объектов можно увязывать между собой логическими группами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Балалаев, А. С.* Транспортное и складское обеспечение логистики : учеб. пособие / А. С. Балалаев, А. В. Кочемасова, С. Н. Третьяк. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2008. – 140 с.

2 *Транспортная логистика* : учеб. для трансп. вузов / под общ. ред. Л. Б. Миротина. – М. : Экзамен, 2003. – 512 с.

3 *Числов, О. Н.* Концепция цифрового имитационного моделирования железнодорожного транспортно-складского комплекса / О. Н. Числов, В. В. Трапенов, Н. М. Лугаченко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : международн. сб. науч. тр. / под ред. А. К. Головнича. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 207–215.

4 *Числов, О. Н.* Аксиоматика транспортных процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, В. В. Ильичева, Д. С. Безусов // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 6(66). – С. 68–76.

5 *Числов, О. Н.* Принципы теории нечетких множеств в формализации инфраструктурно-технологического взаимодействия припортовой железнодорожной транспортной системы / О. Н. Числов, Д. С. Безусов // Известия Петербургского университета путей сообщения / Proceedings of Petersburg Transport University, 2021. – Т. 18, вып. 4. – С. 578–590.

O. N. CHISLOV, N. M. LUGANCHENKO

DEVELOPMENT OF MODELING PRINCIPLES TECHNOLOGIES OF TRANSPORT PROCESSES OF CARGO COMPLEXES AND TERMINALS

The article implements such methods digitalization of transport and warehouse reliability as the creation of a simulation model of the transport and warehouse complex, representing a digital open target, followed by the use of the method of axiomatization of transport and technological processes in order to obtain the efficiency of using the reliability of the transport and warehouse complex.

Получено 22.10.2022